

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-305382

(P2001-305382A)

(43)公開日 平成13年10月31日 (2001.10.31)

(51)Int.Cl.

G 02 B
6/32
6/10

識別記号

F I
G 02 B
6/32
6/10

マークト(参考)
2 H 0 3 7
D 2 H 0 5 0

審査請求 未請求 請求項の数 6 OL (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2000-126522(P2000-126522)

(22)出願日 平成12年4月26日 (2000.4.26)

(71)出願人 500194865

佐々木 実

宮城県仙台市青葉区貝が森6丁目3番3号

(71)出願人 598025636

羽根 一博

宮城県仙台市青葉区中山9丁目21番5号

(71)出願人 593139411

ミマキ電子部品株式会社

長野県小県郡東部町大字遊野乙1382番地1

(72)発明者 佐々木実

宮城県仙台市青葉区貝が森6丁目3番3号

(74)代理人 100062834

弁理士 高橋 光男

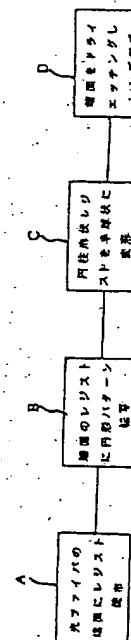
最終頁に続く

(54)【発明の名称】光ファイバ端面のレンズ加工方法

(57)【要約】

【課題】光の伝搬効率を向上するため、現在行われている光ファイバの先端面を加工してレンズを形成する方法は、結合部の形状はコンパクトになるが、高度の加工技術を必要とし多くの工数を必要とし、均一な特性のレンズを大量に形成することは困難であるため広く実用される状況には至っていない。

【解決手段】本発明は、光ファイバ端面上に均一な厚さのレジストの塗布を行う工程と、レジストの上に円形のパターンを転写する工程と、レジストの円柱形状が形成された光ファイバを高温でペイクすることにより表面張力により円柱形状を半球状に変形させる工程と、半球状に変形されたレジストのパターンが形成された光ファイバをドライエッティングしてレンズを形成する工程となりなる光ファイバ端面のレンズ加工方法を実現して、従来の問題を解決したものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】光ファイバ端面上に均一な厚さのレジストの塗布を行う工程と、光ファイバ端面上に塗布されたレジストに円形のパターンを転写し円柱形状とする工程と、端面上にレジストの円柱形状が形成された光ファイバを高温でベイクすることにより、レジストを流動状態まで変化させ表面張力によりレジストの円柱形状を半球状に変形させる工程と、半球状に変形したレジストのパターンが形成された光ファイバ端面をドライエッティングしてレジスト形状を光ファイバに転写することによりレンズを形成する工程と、よりなる光ファイバ端面のレンズ加工方法。

【請求項2】光ファイバ端面上に光ファイバの直径より小さなレジスト微粒子を数回に分けて堆積させて成膜することにより均一な厚さのレジストの膜を塗布する工程と、光ファイバ端面上に塗布されたレジストにパターン転写マスクを使用して円形のパターンを転写し円柱形状とする工程と、端面上にレジストの円柱形状が形成された光ファイバを高温でベイクすることにより、レジストを流動状態まで変化させ表面張力によりレジストの円柱形状を半球状に変形させる工程と、半球状に変形したレジストのパターンが形成された光ファイバ端面をドライエッティングしてレンズを形成する工程と、よりなる光ファイバ端面のレンズ加工方法。

【請求項3】光ファイバ端面上に光ファイバの直径より小さなレジスト微粒子を数回に分けて堆積させて成膜することにより均一な厚さのレジストの膜を塗布する工程と、光ファイバ端面上に塗布されたレジストにパターン転写マスクを使用して円形のパターンを転写し円柱形状とする工程と、端面上にレジストの円柱形状が形成された光ファイバを155°Cの温度で約1時間ベイクすることで、レジストを流動状態まで変化させ表面張力によりレジストの円柱形状を半球状に変形させる工程と、光ファイバ端面に半球状に変形されたレジストのパターンが形成された光ファイバ端面をドライエッティングしてレンズを形成する工程と、よりなる光ファイバ端面のレンズ加工方法。

【請求項4】光ファイバ端面上に光ファイバの直径より小さなレジスト微粒子を数回に分けて堆積させて成膜することにより均一な厚さのレジストの膜を塗布する工程と、光ファイバ端面上に塗布されたレジストにパターン転写マスクを使用して円形のパターンを転写し円柱形状とする工程と、端面上にレジストの円柱形状が形成された光ファイバを155°Cの温度で約1時間ベイクすることで、レジストを流動状態まで変化させ表面張力によりレジストの円柱形状を半球状に変形させる工程と、光ファイバ端面に半球状に変形されたレジストのパターンが形成された光ファイバ端面を高速原子線(FAB)エッティング装置を始めとするドライエッティング装置によりエッティングしてレンズを形成する工程と、よりなる光ファ

イバ端面のレンズ加工方法。

【請求項5】請求項2乃至請求項4における、転写マスクを、ガラス基板上に光ファイバに転写するパターンと、光ファイバのガイド穴のパターンとをフォトリソグラフィで同時に転写し、ガラス基板上のガイド穴のパターン上にめっきプロセスにより金属膜を成長させて光ファイバのガイド穴を形成することにより製作された、ガイド穴の底部に光ファイバ用転写パターンを持った構造を有する転写マスクを使用することにより光ファイバ端面の中心に転写パターンを正確にアライメントすることを特徴とする光ファイバ端面へのパターン転写方法。

【請求項6】請求項2乃至請求項4における、転写マスクを、ガラス基板上にCr-Auをスパッタした上に光ファイバに転写するパターンと、光ファイバのガイド穴のパターンとをフォトリソグラフィで同時に転写し、Cr-Auをエッティングしたガラス基板上にレジスト膜を成膜してセルフアライメント手法で露光現像した後に、ガラス基板上のガイド穴のパターン上にCr-Auを電極としてめっきプロセスにより金属膜を成長させて光ファイバのガイド穴を形成することにより製作された、ガイド穴の底部のガラス基板上にCr-Auの光ファイバ用転写パターンを持った構造を有する転写マスクを使用することにより光ファイバ端面の中心に転写パターンを正確にアライメントすることを特徴とする光ファイバ端面へのパターン転写方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光ファイバ端面のコア付近を半球状に加工してレンズを形成するようにした光ファイバ端面のレンズ加工方法に関する。本発明の光ファイバ端面のレンズ加工方法を行った光ファイバは、複雑な部品構造を必要としないので光ファイバのカップリング効率が向上する。

【0002】

【従来の技術】現在の通信技術の急速な発展と通信網の拡大により、光ファイバを使用した通信ラインが拡大している。光ファイバを使用した通信ラインでは、光ファイバと光回路等の光モジュールとのカップリングにおけるコア部とクラット部の屈折率の相違を調整して、光の伝搬効率を向上するために、光ファイバと光ファイバとの結合部に微小レンズを挿入する方法が行われている。しかしながら、この方法は微小レンズの製造や光ファイバとレンズの位置関係を正確に調整することが必要であるためその調整に手間がかかるだけでなく、独立の微小レンズを使用するため結合部の形状が大きくなり、そのコストも高くなる等の問題があるため広く使用される状況には無い。この問題を解決するために、光ファイバの先端をバーナーの炎で溶融し、融解したガラスの表面張力により先端部を球状にしてレンズを形成する方法や、光ファイバの先端面を機械的な加工により直接レン

ズを形成する方法等が試みられている。しかしながら、現在行われている光ファイバの先端面を加工してレンズを形成する方法は、結合部の形状はコンパクトになるが、高度の加工技術を必要とし多くの工数を必要とし、均一な特性のレンズを大量に形成することは困難であるため広く実用される状況には至っていない。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】このような状況にもかかわらず、現在の通信技術の急速な発展と通信網の拡大により、光ファイバのカップリング効率の向上等を目的として、光ファイバの先端面に均一な特性のレンズを安いコストで大量に製作する技術の開発が要望されている。

【0004】

【課題を解決するための手段】本発明は、光ファイバ端面上に均一な厚さのレジストの塗布を行う工程と、光ファイバ端面上に塗布されたレジストに円形のパターンを転写する工程と、端面上にレジストの円柱形状が形成された光ファイバを高温でベイクすることによりレジストを流動状態まで変化させ表面張力によりレジストの円柱形状を半球状に変形させる工程と、半球状に変形したレジストのパターンが形成された光ファイバをドライエッティングしてレンズを形成する工程とよりなる光ファイバ端面のレンズ加工方法を実現したものである。本発明の光ファイバ端面のレンズ加工方法は、エッティングの技術により光ファイバ端面にレンズを形成するようにしたもので、半導体の製造技術を活用することにより、光ファイバに均一な特性のレンズを安いコストで大量に製作する技術を確立したものである。

【0005】

【発明の実施の形態】

【実施例】図1は、本発明の光ファイバ端面のレンズ加工方法の工程を説明するための図である。光ファイバは髪の毛程の細さ（外径125μm）であり、その端面や側面に追加工をするのは困難である。本発明では、微細なパターンを製作するのに最も実績のあるフォトリソグラフィ加工により光ファイバ端面上に微細パターンを製作した。本発明の光ファイバ端面のレンズ加工方法は図1に示すような4の工程により行われる。

A：光ファイバ端面上に均一な厚さのレジストの塗布を行う工程、

B：光ファイバ端面上に塗布されたレジストに円形のパターンを転写する工程、

C：端面上にレジストの円柱形状が形成された光ファイバを高温で一定の時間ベイクすることで、レジストを流動状態まで変化させ表面張力により円柱形状のレジストを半球状に変形させる工程、

D：光ファイバ端面上に半球状に変形されたレジストのパターンが形成された光ファイバ端面を光ファイバとレジストと一緒にエッティングによりドライエッティングしてレ

ンズを形成する工程、
の4工程よりなる。

【0006】以下、図1に示した各工程について詳細に説明する。先ず、光ファイバ端面上に均一な厚さのレジストの塗布を行う工程Aについて説明する。図2は光ファイバ端面上にレジストの塗布を行った事例を示す図である。図2において、3はレジスト、5は光ファイバである。光ファイバ端面にフォトリソグラフィ加工を行う場合、まず問題になるのはレジストの成膜法である。一般に平面のシリコンウェハに対する成膜法には、スピンドルコート法が利用されている。しかし、スピンドルコート法により凹凸の激しい物体や、微細形状物体に成膜した場合には、レジストの表面張力により均一なレジスト膜が得られない。スピンドルコート法で光ファイバ5の端面上に成膜した場合には、図2の（b）に示すように、レジスト3は表面張力により先端で丸まった塊となる。このため、図2の（b）に示すような先端で丸まった塊にパターンを転写することは不可能である。

【0007】本発明では、レジストを霧状に吹き付ける方法を用いて光ファイバ端面上に均一なレジスト膜を成膜し、フォトリソグラフィ加工を行う技術を開発した。本発明では、光ファイバ端面へのレジストの成膜を行うために、單一モード光ファイバ（外径125μm）を平面にカットした端面に対し、二流体混合スプレーを用いて、小量の粒子径の代表値が6μmのレジスト微粒子を数回に分けて堆積させて成膜した。髪の毛ほどの太さを持つ微細な端面上であっても、光ファイバ端面の外径125μmは、レジスト粒子径の6μmより十分大きいために均一な成膜ができる。また、本発明では、レジストの溶剤を速やかに気化することを目的として、光ファイバを20×20×8mmのアルミニウムのブロックのワークで挟み145°Cで予め加熱した。レジストの噴霧中はワーク固定台の設定温度を120°Cとし加熱しながら噴霧を行った。この際、設定温度は120°Cであるが、光ファイバ端面は60°C以下になっていると考えられる。

【0008】成膜後の光ファイバ5の端面を図2の（a）に示す。円周附近でも隆起を生じることなく、全体に渡って均一にネガレジスト3が成膜されている。膜厚は1～5μmである。図3は、光ファイバの端面に均一にレジストが成膜されるレジスト塗布の条件を示したものである。レジストがネガ「60cp OMR-83（東京応化学工業株式会社）」の場合、ボジ「30cp ORFR-800（東京応化学工業株式会社）」の場合、噴霧圧力は0.4MPa、シリンジ圧力は0.4MPa、送り速度2.0mm/sec、温度120°C、希釈度20倍で5回の重ね塗りの条件で行った。

【0009】次に、光ファイバ端面上に塗布されたレジストの上に円形のパターンを転写する工程Bについて説明する。外径125μmの細い光ファイバ端面に同心円

上のパターンをフォトリソグラフィ加するためには、光ファイバとマスクとのアライメントが重要となる。本発明では、光ファイバ端面上に塗布されたレジストに円形のパターンを転写するために、光ファイバ端面の中心軸に、容易かつ正確にアライメント出来るマスクを製作した。マスクの製作方法は、光ファイバに転写するパターンが作られたSiO₂基板上に、電解めっきによりNi厚膜を成長させ、光ファイバが収まる程度のNiガイド穴を生成した。ガイド穴の底には、予め光ファイバに転写するパターンを作つておくことにより、光ファイバを穴に挿入することで、自動的にアライメントをするようにしたものである。

【0010】図4は、ポジレジストの膜を塗布された光ファイバ端面上に円形のパターンを転写するパターン転写マスクの製作工程の説明図である。このパターン転写マスクを使用することにより光ファイバ端面の中心軸に、容易かつ正確にアライメントすることが可能になる。図4において、1はSiO₂基板、2はCr-Au、3はレジスト、4はNi、5は光ファイバである。マスクの製作プロセスについて図4により説明する。

工程1：光ファイバに転写するパターンを作るSiO₂基板上に、めっきの電極となるCr-Auをスパッタする。

工程2：光ファイバを挿入する円と、ポジレジストを塗布した光ファイバ端面に描画するパターンをレジストでバーニングする。メッキによりパターンは約1.0μm狭まつたので、光ファイバを挿入する円は1.36μmとした。

【0011】工程3：Cr-Au膜をエッチングする。

工程4：Cr-Au膜をエッチングしたSiO₂基板に、粘性の高いネガレジスト[450cp, OMR-83(東京応化工業株式会社)]を表面張力で膨らむ程度、過剰に盛る。ポジレジストの盛られたSiO₂基板を、2000rpm、2~3secで多少平滑化し、ベイクして2.0μm程度になるレジスト厚膜を成膜する。プリベイクは90°C、30minでレジスト膜が傾斜しないように、ウエハを平面の板に乗せ行う。露光は、レジストを塗布した面の逆面より行うために、最初にバーニングした形に正確に合うセルフアライメント技術を用いた。条件は120mWの紫外光源で5minである。

工程5：ポジレジスト厚膜の成膜された基板を現像する。現像は40min、リヌスは30min行う。高さ2.0μmの厚膜のレジストパターンが製作できる。この厚膜のレジストパターンは、Niめっきの際に横方向のNi成長を防ぐ、バーニング後90°C、1時間のベイクを行う。

【0012】工程6：スルファミン酸Ni浴で、Ni層を成長させる。めっきの条件は、浴の温度55°C、電流密度約0.1mA/mm² (20mm四方に40m

A)とした。この条件でめっきは約0.08μm/miの速度で成長する。

工程7：Ni層を約2.0μmまで成長させる。

工程8：レジストをリムーバ(5.02A)で剥離し、マスクは完成となる。

工程9：光ファイバ端面にレジストを塗布したものを、Niの穴に挿入し、逆面より紫外光を照射し露光する。

工程10：現像し、光ファイバ端面の中心に正確にアライメントされたレジストパターンを得る。図6は、上記の図4に示す工程により完成したマスクの形状を示したものである。2.0μmの膜厚のNi膜に外径約1.25μmの穴が製作され、その底にはCr-Auの円形のパターンが描画されている。

【0013】図5は、ネガレジストの膜を塗布された光ファイバ端面上に円形のパターンを転写するパターン転写マスクの製作工程の説明図である。このパターン転写マスクを使用することにより光ファイバ端面の中心軸に、容易かつ正確にアライメントすることが可能になる。図5において、1はSiO₂基板、2はCr-Au、3はレジスト、4はNi、5は光ファイバである。マスクの製作プロセスについて図5により説明する。

工程1：光ファイバに転写するパターンを作るSiO₂基板上に、めっきの電極となるCr-Auをスパッタする。

工程2：光ファイバを挿入する円と、ネガレジストを塗布した光ファイバ端面に描画するパターンをレジストでバーニングする。メッキによりパターンは約1.0μm狭まつたので、光ファイバを挿入する円は1.36μmとした。

【0014】工程3：Cr-Au膜をエッチングする。

工程4：Cr-Au膜をエッチングしたSiO₂基板に、粘性の高いネガレジスト[450cp, OMR-83(東京応化工業株式会社)]を表面張力で膨らむ程度、過剰に盛る。ネガレジストの盛られたSiO₂基板を、2000rpm、2~3secで多少平滑化し、ベイクして2.0μm程度になるレジスト厚膜を成膜する。プリベイクは90°C、30minでレジスト膜が傾斜しないように、ウエハを平面の板に乗せ行う。露光は、レジストを塗布した面の逆面より行うために、最初にバーニングした形に正確に合うセルフアライメント技術を用いた。条件は120mWの紫外光源で5minである。

工程5：レジスト厚膜の成膜された基板を現像する。現像は40min、リヌスは30min行う。高さ2.0μmの厚膜のレジストパターンが製作できる。この厚膜のレジストパターンは、Niめっきの際に横方向のNi成長を防ぐ。バーニング後90°C、1時間のベイクを行う。

【0015】工程6：スルファミン酸Ni浴で、Ni層を成長させる。めっきの条件は、浴の温度55°C、電流

密度約 0.1 mA/mm^2 (20 mm 四方に $40 \mu\text{m A}$)とした。この条件でめっきは約 $0.08 \mu\text{m}/\text{min}$ の速度で成長する。

工程7: Ni 層を約 $20 \mu\text{m}$ まで成長させる。

工程8: レジストをリムーバ (502 A) で剥離し、マスクは完成となる。

工程9: 光ファイバ端面にレジストを塗布したものを、 Ni の穴に挿入し、逆面より紫外光を照射し露光する。

工程10: 現像し、光ファイバ端面の中心に正確にアライメントされたレジストパターンを得る。図7は、上記の図5に示す工程により完成したマスクの形状を示したものである。 $20 \mu\text{m}$ の膜厚の Ni 膜に外径約 $125 \mu\text{m}$ の穴が製作され、その底には中空円の Cr-Au のパターンが描画されている。

【0016】図4、図5のいずれの工程により製作されたマスクも、 Cr-Au 膜のバーニングの際に、光ファイバを挿入するための円と光ファイバの端面に描画するパターンを1度のバーニングで転写するため、このマスクを製作するパターンジェネレータの高い精度でファイバ端面への高いアライメント精度が可能である。次に、端面上にレジストの円柱形状が形成された光ファイバを高温でベイクすることにより、レジストを流動状態まで変化させ表面張力によりレジストの円柱形状を半球状に変形させる工程Cについて説明する。図8はレジストの円柱形状を半球状に変形させる加工方法を説明した図である。図8において、3はレジスト、5は光ファイバを示す。図8の(a)は、図4又は図5に説明した工程により、光ファイバ端面にコネクタガイド持ったマスクを使用してレジストの円柱形状が形成された光ファイバを示す。光ファイバ端面のレジストの円柱形状の厚さは、送り速度を下げたり、重ね塗り回数、レジスト流量を増すことで多少厚めに成膜し、ベイク後十分な曲率を得られるようにした。

【0017】図9は、光ファイバの端面に半球形を得るためにネガレジストを成膜するレジスト塗布条件を示したものである。噴霧圧力は 0.4 MPa 、シリジン圧力は 0.2 MPa 、送り速度 1.5 mm/sec 、温度 120°C 、希釈度20倍で6回の重ね塗りにより $8 \sim 12 \mu\text{m}$ の成膜を作成出来る。このようにして形成されたレジストパターンを図8の(a)に示した、レジストの円柱形状が形成された光ファイバを 155°C の高温で、1時間ベイクを行う。光ファイバの端面のネガレジストは高温に晒された場合高分子化、収縮、だれが起こり、約 150°C でエッジ部の流動が始まる。この際、レジストには表面張力が働き、円柱形状のレジストは丸みをおび変形する。 155°C 付近で半球形に変形することが実験により確認できた。 155°C で1時間ベイク後のレジストパターンを図8の(b)に示す。端面上でネガレジストは半球状に形成されている。端面上の直径は $60 \mu\text{m}$ 、膜の高さは $14 \mu\text{m}$ であるがこの寸法は調節可能である。

【0018】次に、光ファイバ端面に半球状に変形されたレジストのパターンが形成された光ファイバをエッチングによりドライエッティングしてレンズを形成する工程Dについて説明する。図10は、図8の(b)に示す光ファイバ端面に半球状に変形されたレジストのパターンが形成された光ファイバ端面をエッチングによりドライエッティングしてレンズを形成する方法の説明図である。図10(a)に示すように、図8の(b)に示した光ファイバ端面に半球状に変形されたレジストのパターンが形成された光ファイバを、FAB (Fast Atom Beam = 高速原子線) エッティング装置により、サイドエッティングの影響無く光ファイバ端面に垂直に加工し、レジストパターンの形状を光ファイバに転写する。

【0019】FABにより光ファイバ端面のレジストを完全に除去するまでエッティングを行う。FABのエッティングは異方性のドライエッティングであり、垂直にレジストと、光ファイバ(SiO_2)をエッティングできる。FABのエッティングでは、光ファイバ(SiO_2)に対してレジストは約1.4倍の速度でエッティングされ、半球状のレジストパターンをほぼ形状を保って光ファイバに転写される。この場合は、半球状ネガレジストパターンに比べて、加工後のレンズ面の曲率は下がっている。図10の(b)に示すように、レジストを全てエッティングした後、完成となる。本発明の光ファイバ端面のレンズ加工方法は、フォトリソグラフィとエッティングの技術により光ファイバ端面にレンズを形成するようにしたもので、半導体の製造技術を活用することにより、光ファイバに均一な特性のレンズを安いコストで大量に製作することが可能になる。

【0020】

【発明の効果】以上の説明より明らかのように、本発明の光ファイバ端面のレンズ加工方法は、光ファイバ端面上に均一な厚さのレジストの塗布を行う工程と、光ファイバ端面上に塗布されたレジストの上に円形のパターンを転写する工程と、端面上にレジストの円柱形状が形成された光ファイバを高温でベイクすることにより、レジストを流動状態まで変化させ表面張力によりレジストの円柱形状を半球状に変形させる工程と、光ファイバ端面に半球状に変形されたレジストのパターンが形成された光ファイバ端面をドライエッティングしてレンズを形成する工程とにより光ファイバ端面にレンズを形成するようにしたものである。本発明の光ファイバ端面のレンズ加工方法は、フォトリソグラフィとエッティングの技術により光ファイバ端面にレンズを形成するようにしたもので、半導体の製造技術を活用することにより、光ファイバに均一な特性のレンズを安いコストで大量に製作することでが可能になり、今後の光通信技術の発展に貢献するところが大である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の光ファイバ端面のレンズ加工方法の

工程を説明するための図である。

【図2】 光ファイバ端面上にレジストの塗布を行った事例を示す図である。

【図3】 二流体混合スプレーを用いて光ファイバの端面に均一にネガレジストが成膜されるレジスト塗布の条件を示した例である。

【図4】 ポジレジストを塗布した光ファイバ端面の中心軸に、容易かつ正確にアライメントするための転写マスクの製作工程の説明図である。

【図5】 ネガレジストを塗布した光ファイバ端面の中心軸に、容易かつ正確にアライメントするための転写マスクの製作工程の説明図である。

【図6】 図4に示す工程により完成したマスクの形状を示したものである。

【図7】 図5に示す工程により完成したマスクの形状を示したものである。

10

* 【図8】 レジストの円柱形状を半球状に変形させる加工方法を説明した図である。

【図9】 光ファイバの端面に半球形を得るためネガレジストを成膜するレジスト布の条件を示したものである。

【図10】 図8の(b)に示す光ファイバ端面に半球状に変形されたレジストのターンが形成された光ファイバ端面をドライエッティングしてレンズを形成する方法の説明図である。

【符号の説明】

1 ··· SiO₂基板、

2 ··· Cr-Au、

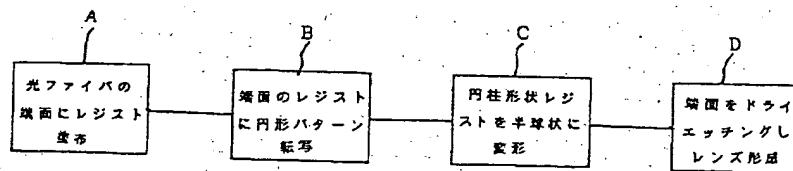
3 ··· レジスト、

4 ··· Ni、

5 ··· 光ファイバ

*

【図1】



【図2】

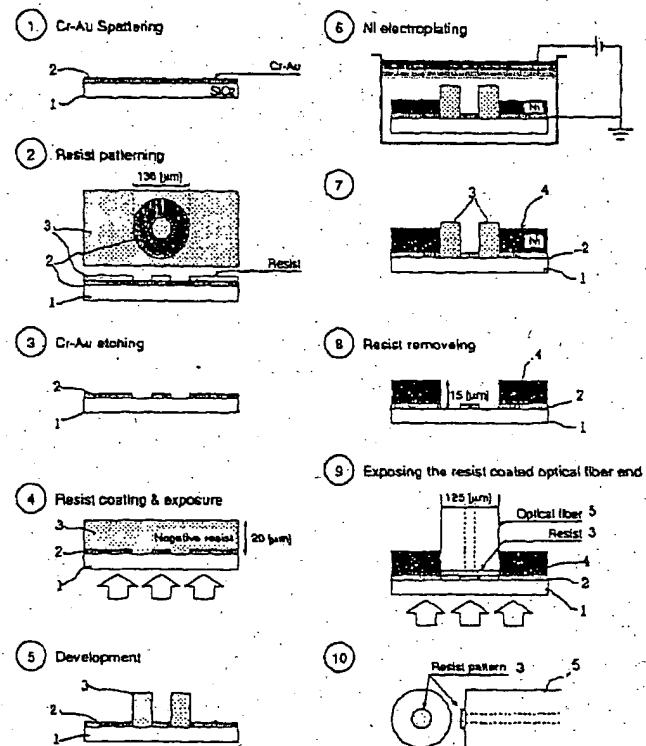


【図3】

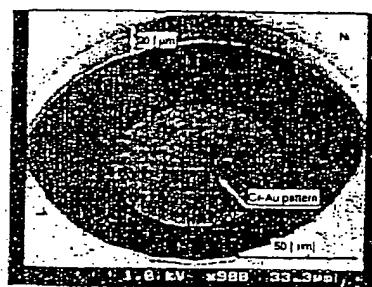
レジスト	噴霧圧力 [MPa]	シリジン圧力 [MPa]	送り速度 [mm/sec]	温度 [°C]	希釈度 [倍]	重ね塗り回数 [回]	塗布位置 [mm]	MFC [SCCM]
ネガ	0.40	0.20	2.0	120	20	5	150	30~35
ポジ	0.40	0.20	2.0	120	20	5	150	10~20

(7)

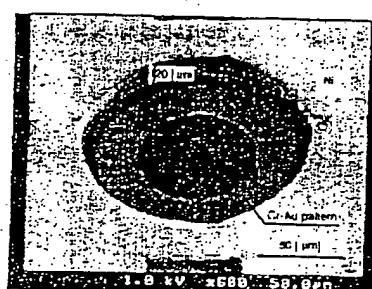
【図4】



【図6】



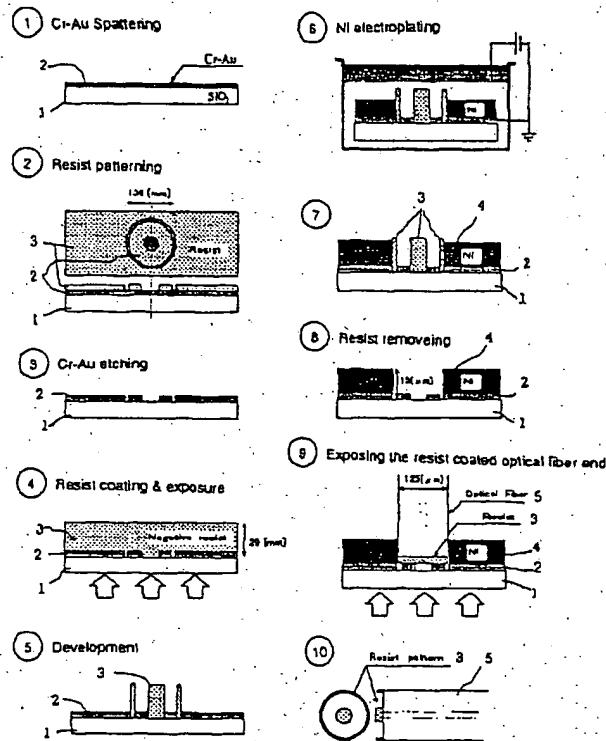
【図7】



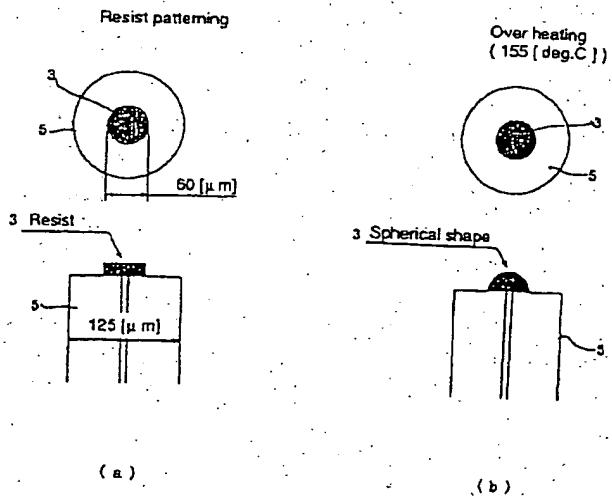
(8)

特開2001-305382

【図5】



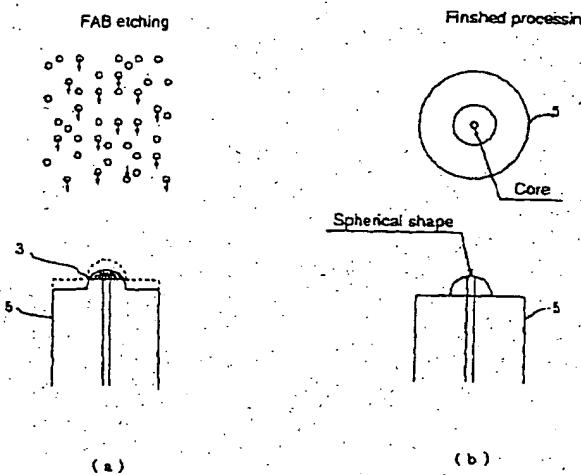
【図8】



【図9】

噴霧圧力 [MPa]	シリジン圧力 [MPa]	送り速度 [mm/sec]	温度 [°C]	希釈度 [倍]	重ね塗り回数 [回]	塗布位置 [mm]	MFC [SCCM]
0.40	0.20	1.5	120	20	6	150	33

【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 羽根一博

宮城県仙台市青葉区中山9丁目21番5号

(72)発明者 田中規幸

長野県小県郡東部町大字滋野乙1382番地1

ミマキ電子部品株式会社内

(72)発明者 織田浩一

長野県小県郡東部町大字滋野乙1382番地1

ミマキ電子部品株式会社内

F ターム(参考) 2H037 CA08 CA12

2H050 AC90

Date: December 1, 2003

Declaration

I, Michihiko Matsuba, President of Fukuyama Sangyo Honyaku Center, Ltd., of 16-3, 2-chome, Nogami-cho, Fukuyama, Japan, do solemnly and sincerely declare that I understand well both the Japanese and English languages and that the attached document in English is a full and faithful translation, of the copy of Japanese Unexamined Patent No. 2001-305382 laid open on October 31, 2001.



Michihiko Matsuba

Fukuyama Sangyo Honyaku Center, Ltd.

METHOD FOR PROCESSING LENS OF OPTICAL FIBER END FACE

Japanese Unexamined Patent No. 2001-305382

Laid-open on: October 31, 2001

Application No. 2000-126522

Filed on: April 26, 2000

Inventor: Minoru SASAKI

Kazuhiko HANE

Noriyuki TANAKA

Koichi ODA

Applicant: Mimaki Electronic Components Co., Ltd.

Patent Attorney: Mitsuo TAKAHASHI

SPECIFICATION

[TITLE OF THE INVENTION] METHOD FOR PROCESSING LENS OF OPTICAL
FIBER END FACE

[ABSTRACT]

[Object] According to a current method for processing the tip surface of an optical fiber to form a lens in order to enhance propagation efficiency of light, the shape of a connected portion is made compact, but an advanced processing technology and many man-hours are necessitated, and it is difficult to form lenses having a uniform characteristic in large quantities,

and therefore a situation in which the method is widely used has not been attained.

[Solution Means] The conventional problem is solved by realizing a method for processing the lens of an optical fiber end face, comprising the steps of: applying a resist of uniform thickness onto the optical fiber end face, transferring a circular pattern onto the resist, deforming the columnar shape of the resist to a hemispherical shape by using surface tension generated by baking the optical fiber on which the columnar shape of the resist is formed at a high temperature, and applying dry etching to the optical fiber having the pattern of the resist deformed to the hemispherical shape for forming the lens.

[WHAT IS CLAIMED IS;]

[Claim 1] A method for processing a lens of an optical fiber end face, comprising the steps of: applying a resist of uniform thickness onto the optical fiber end face, transferring a circular pattern onto the resist applied on the optical fiber end face so as to form a columnar shape, changing the resist up to a fluidized state by baking an optical fiber on which the columnar shape of the resist is formed at a high temperature and deforming the columnar shape of the resist to a hemispherical shape by surface tension, and applying dry

etching to the optical fiber end face having the pattern of the resist deformed to the hemispherical shape and transferring a resist shape to the optical fiber so as to form the lens.

[Claim 2] A method for processing a lens of an optical fiber end face, comprising the steps of: applying a film of a resist of uniform thickness onto the optical fiber end face by depositing a fine resist particle whose diameter is smaller than that of an optical fiber on the optical fiber end face several times so as to form the film, transferring a circular pattern onto the resist applied on the optical fiber end face by use of a pattern transferring mask so as to form a columnar shape, changing the resist up to a fluidized state by baking the optical fiber on the end face of which the columnar shape of the resist is formed at a high temperature and deforming the columnar shape of the resist to a hemispherical shape by surface tension, and applying dry etching to the optical fiber end face having the pattern of the resist deformed to the hemispherical shape so as to form the lens.

[Claim 3] A method for processing a lens of an optical fiber end face, comprising the steps of: applying a film of a resist of uniform thickness onto the optical fiber end face by depositing a fine resist particle whose diameter is smaller than that of an optical fiber on the optical fiber end face

several times so as to form the film, transferring a circular pattern onto the resist applied on the optical fiber end face by use of a pattern transferring mask so as to form a columnar shape, changing the resist up to a fluidized state by baking the optical fiber on the end face of which the columnar shape of the resist is formed at 155°C for about one hour and deforming the columnar shape of the resist to a hemispherical shape by surface tension, and applying dry etching to the optical fiber end face having the pattern of the resist deformed to the hemispherical shape so as to form the lens.

[Claim 4] A method for processing a lens of an optical fiber end face, comprising the steps of: applying a film of a resist of uniform thickness onto the optical fiber end face by depositing a fine resist particle whose diameter is smaller than that of an optical fiber on the optical fiber end face several times so as to form the film, transferring a circular pattern onto the resist applied on the optical fiber end face by use of a pattern transferring mask so as to form a columnar shape, changing the resist up to a fluidized state by baking the optical fiber on the end face of which the columnar shape of the resist is formed at 155°C for about one hour and deforming the columnar shape of the resist to a hemispherical shape by surface tension, and applying dry etching to the optical fiber

end face having the pattern of the resist deformed to the hemispherical shape so as to form the lens by use of a dry etching device including a fast atomic beam (FAB) etching device.

[Claim 5] A method for transferring a pattern to an optical fiber end face, as set forth in Claims 2 to 4, accurately aligning transfer patterns at a center of the optical fiber end face by use of a transferring mask structured to have a transfer pattern used for an optical fiber at a bottom of a guide hole, the transferring mask simultaneously transferring a pattern to be transferred to the optical fiber and a pattern of the guide hole of the optical fiber onto a glass board according to photolithography and being produced by forming the guide hole of the optical fiber while growing a metal film on a pattern of the guide hole on the glass board according to a plating process.

[Claim 6] A method for transferring a pattern to an optical fiber end face, as set forth in Claims 2 to 4, accurately aligning transfer patterns at a center of the optical fiber end face by use of a transferring mask structured to have a transfer pattern used for a Cr-Au optical fiber on a glass board of a bottom of a guide hole, the transferring mask simultaneously transferring a pattern to be transferred to the

optical fiber and a pattern of the guide hole of the optical fiber onto a glass board onto which Cr-Au has been sputtered according to photolithography and being produced by forming the guide hole of the optical fiber while growing a metal film on a pattern of the guide hole on the glass board in which Cr-Au is used as an electrode according to a plating process after forming a resist film on the glass board in which Cr-Au is etched and performing exposure development according to a self alignment technique.

[DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION]

[0001]

[Technical Field of the Invention] The present invention relates to a method for processing the lens of an optical fiber end face in which a part in the vicinity of a core of the end face of an optical fiber is hemispherically processed to form a lens. Since an optical fiber subjected to the method for processing the lens of an optical fiber end face of the present invention does not need a complex component structure, the coupling efficiency of the optical fiber is enhanced.

[0002]

[Prior Art] With the rapid development of current communications technology and with the expansion of communications networks, a communications lines that use an

optical fiber have been expanded. In the communications line that uses an optical fiber, the propagation efficiency of light is enhanced by adjusting a difference in the refractive index between a core part and a clad part in the coupling between an optical fiber and an optical module, such as an optical circuit, and therefore a method is executed for inserting a minute lens between the optical fiber and a connected portion with the optical fiber. However, since this method is required to manufacture the minute lens and accurately adjust the positional relationship between the optical fiber and the lens, a problem resides in the fact that much time is consumed in its adjustment and, in addition to this, the shape of the connected portion is enlarged because of the use of a minute lens that is an independent one, thus leading to high costs, and, as a result, a situation in which a method is widely used has not been attained. In order to solve this problem, various methods have been attempted, such as a method of melting the tip of an optical fiber by the flame of a burner and forming a lens in such a way as to deform the tip into a spherical shape by the surface tension of molten glass and a method for directly forming a lens by mechanically processing the surface of the tip of the optical fiber. However, according to the current method for processing the tip surface of the optical fiber so

as to form a lens, the shape of the connected portion can be made compact, but an advanced processing technology and many man-hours are necessitated, and it is difficult to form lenses having a uniform characteristic in large quantities, and therefore a situation in which the method is widely used has not been attained.

[0003]

[Problems to be Solved by the Invention] Although this situation exists, there are demands to develop a technique for producing lenses having a uniform characteristic in large quantities at the tip surface of an optical fiber at low cost, in order to enhance the coupling efficiency of an optical fiber and so on, with the rapid development of the current communications technology and with the expansion of communications networks.

[0004]

[Means for Solving Problems] The present invention realizes a method for processing a lens of an optical fiber end face, comprising the steps of: applying a resist of uniform thickness onto the optical fiber end face, transferring a circular pattern onto the resist applied on the optical fiber end face, changing the resist up to a fluidized state by baking an optical fiber on which the columnar shape of the resist is formed at

a high temperature and deforming the columnar shape of the resist to a hemispherical shape by surface tension, and applying dry etching to the optical fiber having the pattern of the resist deformed to the hemispherical shape so as to form the lens. The method for processing the lens of an optical fiber end face of the present invention is to form a lens on the optical fiber end face through an etching technique, and a technique for producing lenses having a uniform characteristic on the optical fiber in large quantities at low cost is established by employing a semiconductor manufacturing technology.

[0005]

[Embodiment of the Invention]

[Embodiment] Fig. 1 is a view for explaining the steps of a method for processing the lens of an optical fiber end face of the present invention. The optical fiber is thin similar to hair (outer diameter 125 μ m), and it is difficult to apply additional processing to its end face and to its side face. In the present invention, a fine pattern was produced on the optical fiber end face by photolithography processing that has accomplished the most positive results to produce the fine pattern. The method for processing the lens of an optical fiber end face of the present invention is performed by the

four steps shown in Fig. 1:

- A: step of applying a resist of uniform thickness onto the optical fiber end face,
- B: step of transferring a circular pattern onto the resist applied on the optical fiber end face,
- C: step of changing the resist up to a fluidized state by baking an optical fiber on which the columnar shape of the resist is formed at a high temperature and deforming the columnar shape of the resist to a hemispherical shape by surface tension, and
- D: step of applying dry etching, in which the optical fiber and the resist are etched together, to the optical fiber end face having the pattern of the resist deformed to the hemispherical shape so as to form the lens.

[0006] Each step shown in Fig. 1 will be hereinafter described in detail. First, a description will be given of step "A" of applying a resist of uniform thickness onto an optical fiber end face. Fig. 2 is a view that shows a case in which a resist is applied onto the optical fiber end face. In Fig. 2, 3 is the resist, and 5 is an optical fiber. When photolithography processing is applied to the optical fiber end face, a question of how to form a film of the resist first arises. Generally, a spin coat method is employed as a film formation method with respect to a flat silicon wafer. However, a uniform resist

film cannot be obtained because of the surface tension of the resist when the film is formed on an extremely rugged object or on a fine object according to the spin coat method. When a film is formed on the end face of the optical fiber 5 according to the spin coat method, the resist 3 is shaped like a round mass at its end because of surface tension as shown in (b) of Fig. 2. For this reason, it is impossible to transfer a pattern to the mass rounded at its end as shown in (b) of Fig. 2.

[0007] In the present invention, a technique has been developed in which a uniform resist film is formed on the optical fiber end face according to a method for spraying a resist like a fog, and photolithography processing is performed. In the present invention, in order to form a film of the resist on the optical fiber end face, a small amount of fine resist particles the particle-diameter representative value of each of which is 6 μ m are deposited several times onto an end face formed by planarly cutting a mono-mode optical fiber (outer diameter 125 μ m) by use of a two-fluid-mixed spray. A uniform film can be formed even on a fine end face having a thickness similar to hair because the outer diameter 125 μ m of the optical fiber end face is sufficiently greater than the resist particle diameter 6 μ m. Additionally, in the present invention, the optical fiber was placed between works of a 20×20×8 mm

aluminum block and was pre-heated at 145°C, with the purpose of promptly evaporating the solvent of the resist. The preset temperature of a work-fixing base was fixed at 120°C while the resist was being sprayed. The spraying was performed while raising the temperature. Presumably, the temperature of the optical fiber end face is 60°C or less although the preset temperature is 120°C in this case.

[0008] The end face of the optical fiber 5 on which the film has been formed is shown in (a) of Fig. 2. A film of the negative resist 3 is evenly formed over the whole without generating swelling even near its circumference. The film thickness is 1 μ m to 5 μ m. Fig. 3 shows a resist application condition under which a film of the resist is evenly formed on the end face of the optical fiber. In a case in which the resist is a negative "60cp OMR-83 (TOKYO OHKA KOGYO CO., LTD.)" and in a case in which the resist is a positive "30cp ORFR-800 (TOKYO OHKA KOGYO CO., LTD.)," the film was formed under a condition where the atomizing pressure is 0.4 Mpa, syringe pressure is 0.4 Mpa, feed speed is 2.0 mm/sec, temperature is 120°C, dilution ratio is 1/20, and recoating is performed five times.

[0009] Next, a description will be given of step "B" of transferring a circular pattern onto the resist applied on an optical fiber end face. In order to apply the photolithography

processing of a concentric circular pattern to the end face of a thin optical fiber whose outer diameter is 125 μ m, alignment of the optical fiber with a mask becomes important. In the present invention, a mask that can be easily and accurately aligned with the center axis of the optical fiber end face was produced in order to transfer a circular pattern to the resist applied on the optical fiber end face. The mask was produced such that a Ni thick film is grown on a SiO₂ substrate on which a pattern to be transferred to the optical fiber is formed according to electrolytic plating, and a Ni guide hole large enough to receive the optical fiber is formed. A pattern to be transferred to the optical fiber is beforehand formed at the bottom of the guide hole, and, by inserting the optical fiber into the hole, alignment is automatically performed.

[0010] Fig. 4 is an explanatory drawing of the step of producing a pattern-transferring mask that transfers a circular pattern onto the optical fiber end face on which the film of the positive resist has been applied. It becomes possible to easily and accurately perform alignment with the center axis of the optical fiber end face by using this pattern transferring mask.

In Fig. 4, 1 is the SiO₂ substrate, 2 is Cr-Au, 3 is the resist, 4 is Ni, and 5 is the optical fiber. Referring to Fig. 4, a mask-producing process will be described.

Step 1: Cr - Au that is used as an electrode of plating is sputtered onto the SiO₂ substrate that forms a pattern to be transferred to the optical fiber.

Step 2: A circle to which the optical fiber is inserted and a pattern drawn on the optical fiber end face on which the positive resist has been applied are subjected to patterning by the resist. Since the pattern was narrowed by about 10μm by plating, the circle to which the optical fiber is inserted was set to be 136μm.

[0011] Step 3: A Cr - Au film is etched.

Step 4: A highly viscous negative resist [450cp OMR-83 (TOKYO OHKA KOGYO CO., LTD.)] is excessively deposited on the SiO₂ substrate where the Cr - Au film has been etched to the extent of being swelled by surface tension. The SiO₂ substrate where the positive resist has been deposited is somewhat smoothed at 2000 rpm for 2 to 3 sec and is baked to form a thick resist film of about 20μm. Pre-baking is performed at 90°C for 30 min while placing a wafer on a flat plate so that the resist film does not incline. In order to expose a surface opposite to the surface on which the resist has been applied, a self alignment technique that achieves exact matching with the shape first subjected to patterning was employed. The condition of being exposed by a 120 mW ultraviolet light source for 5 min

was imposed.

Step 5: The substrate on which the thick film of the positive resist has been formed is developed. Development is performed for 40 min, and rinsing is performed for 30 min. The resist pattern of a thick film of 20 μ m in height can be produced. In Ni plating, this resist pattern of a thick film prevents a sidewise Ni growth. After the patterning, baking is performed at 90°C for one hour.

[0012] Step 6: The Ni layer is grown by a sulfamic acid Ni bath. A plating condition where the bath temperature is 55°C and electric current density is about 0.1 mA/mm² (40 mA in the 20 mm square) was imposed. The plating grows at a speed of about 0.08 μ m/min under this condition.

Step 7: The Ni layer is grown to about 20 μ m.

Step 8: The resist is peeled off by a remover (502A), and the mask is completed.

Step 9: A substance obtained by applying the resist onto the optical fiber end face is inserted into the hole of Ni and is exposed while projecting ultraviolet rays from the opposite surface.

Step 10: A resist pattern exactly aligned with the center of the optical fiber end face is obtained by development. Fig. 6 shows the shape of the mask completed by the aforementioned

step shown in Fig. 4. A hole whose outer diameter is about 125 μm is formed in the Ni film having a film thickness of 20 μm , and a circular pattern of Cr-Au is drawn on its bottom.

[0013] Fig. 5 is an explanatory drawing of the step of producing a pattern-transferring mask that transfers a circular pattern onto the optical fiber end face on which the film of the negative resist has been applied. It becomes possible to easily and accurately perform alignment with the center axis of the optical fiber end face by using this pattern transferring mask.

In Fig. 5, 1 is the SiO_2 substrate, 2 is Cr-Au, 3 is the resist, 4 is Ni, and 5 is the optical fiber. Referring to Fig. 5, a mask-producing process will be described.

Step 1: Cr-Au that is used as an electrode of plating is spattered onto the SiO_2 substrate that forms a pattern to be transferred to the optical fiber.

Step 2: A circle to which the optical fiber is inserted and a pattern drawn on the optical fiber end face on which the negative resist has been applied are subjected to patterning by the resist. Since the pattern was narrowed by about 10 μm by plating, the circle to which the optical fiber is inserted was set to be 136 μm .

[0014] Step 3: A Cr-Au film is etched.

Step 4: A highly viscous negative resist [450cp OMR-83 (TOKYO

OHKA KOGYO CO., LTD.)] is excessively deposited on the SiO_2 substrate where the Cr-Au film has been etched to the extent of being swelled by surface tension. The SiO_2 substrate where the negative resist has been deposited is somewhat smoothed at 2000 rpm for 2 to 3 sec and is baked to form a thick resist film of about 20 μm . Pre-baking is performed at 90°C for 30 min while placing a wafer on a flat plate so that the resist film does not incline. In order to expose a surface opposite to the surface on which the resist has been applied, a self alignment technique that achieves exact matching with the shape first subjected to patterning was employed. The condition of being exposed by a 120 mW ultraviolet light source for 5 min was imposed.

Step 5: The substrate on which the thick film of the resist has been formed is developed. Development is performed for 40 min, and rinsing is performed for 30 min. The resist pattern of a thick film of 20 μm in height can be produced. In Ni plating, this resist pattern of a thick film prevents a sidewise Ni growth. After the patterning, baking is performed at 90°C for one hour.

[0015] Step 6: The Ni layer is grown by a sulfamic acid Ni bath. A plating condition where the bath temperature is 55°C and electric current density is about 0.1 mA/mm² (40 mA in the 20

mm square) was imposed. The plating grows at a speed of about 0.08 $\mu\text{m}/\text{min}$ under this condition.

Step 7: The Ni layer is grown to about 20 μm .

Step 8: The resist is peeled off by a remover (502A), and the mask is completed.

Step 9: A substance obtained by applying the resist onto the optical fiber end face is inserted into the hole of Ni and is exposed while projecting ultraviolet rays from the opposite surface.

Step 10: A resist pattern exactly aligned with the center of the optical fiber end face is obtained by development. Fig. 7 shows the shape of the mask completed by the aforementioned step shown in Fig. 5. A hole whose outer diameter is about 125 μm is formed in the Ni film having a film thickness of 20 μm , and a hollow circular pattern of Cr - Au is drawn on its bottom.

[0016] Concerning the mask produced by the steps of either Fig. 4 or Fig. 5, since the circle into which the optical fiber is inserted and the pattern drawn on the end face of the optical fiber are transferred by one patterning act when the Cr - Au film is patterned, high alignment accuracy with the fiber end face can be obtained with high accuracy of a pattern generator that produces this mask. Next, a description will be given of step C of changing the resist up to a fluidized state by

baking the optical fiber on which a columnar shape of the resist is formed at a high temperature and deforming the columnar shape of the resist to a hemispherical shape by surface tension. Fig. 8 is a view explaining a processing method for hemispherically deforming the columnar shape of resist. In Fig. 8, 3 is the resist, and 5 is the optical fiber. (a) of Fig. 8 shows an optical fiber on which the columnar shape of the resist has been formed by use of a mask that has a connector guide at the optical fiber end face by the step described in Fig. 4 or Fig. 5. The thickness of the columnar shape of the resist on the optical fiber end face is formed somewhat thickly by lowering the feed speed or by increasing the number of coatings and the flow rate of the resist, so that sufficient curvature can be obtained after being baked.

[0017] Fig. 9 shows a resist application condition for forming the film of a negative resist in order to obtain a hemispherical shape on the end face of the optical fiber. A film of 8 to 12 μ m can be formed under a condition where the atomizing pressure is 0.4 Mpa, syringe pressure is 0.2 Mpa, feed speed is 1.5 mm/sec, temperature is 120°C, dilution ratio is 1/20, and recoating is performed six times. The thus formed resist pattern is shown in (a) of Fig. 8. The optical fiber on which the columnar shape of the resist has been formed is baked at

a high temperature of 155°C for one hour. The negative resist of the end face of the optical fiber is polymerized, shrunk, or sagged when it is exposed to a high temperature, and, at about 150°C, the edge part starts flowing. At this time, surface tension works on the resist, and the resist having the columnar shape is rounded and deformed. The deformation to a hemispherical shape at about 155°C was ascertained by an experiment. A resist pattern formed after being baked at 155°C for one hour is shown in (b) of Fig. 8. The negative resist is hemispherically formed on the end face. The diameter on the end face is 60μm, and the height of the film is 14μm, which are adjustable.

[0018] Next, a description will be given of step D for applying dry etching to the optical fiber having the pattern of the resist deformed to a hemispherical shape on the optical fiber end face so as to form a lens. Fig. 10 is an explanatory drawing of the method for forming a lens by applying drying etching to the optical fiber end face having the pattern of the resist hemispherically deformed on the optical fiber end face shown in (b) of Fig. 8. As shown in Fig. 10(a), the optical fiber that has the pattern of the resist hemispherically deformed on the optical fiber end face shown in (b) of Fig. 8 is processed vertically with respect to the optical fiber end face without

the influence of side etching by a FAB (Fast Atom Beam) etching device, and the shape of the resist pattern is transferred to the optical fiber.

[0019] Etching is performed until the resist of the optical fiber end face is completely removed with a FAB. The FAB etching is anisotropic dry etching in which the resist and the optical fiber (SiO_2) can be vertically etched. In the FAB etching, the resist is etched about 1.4 times as fast as the optical fiber (SiO_2), and the hemispherical resist pattern is transferred to the optical fiber almost without changing its shape. In this case, the curvature of the lens surface that has been processed is smaller than the hemispherical negative resist pattern. As shown in (b) of Fig. 10, completion is achieved after the resist is entirely etched. The method for processing the lens of an optical fiber end face of the present invention is to form a lens on the optical fiber end face through the technique of photolithography and etching, and, by employing a semiconductor manufacturing technology, it becomes possible to produce lenses having a uniform characteristic at low cost in large quantities on the optical fiber.

[0020]

[Effects of the Invention] As is apparent from the foregoing

description, the method for processing the lens of an optical fiber end face of the present invention is to form a lens on the optical fiber end face through the steps of: applying a resist of uniform thickness onto the optical fiber end face, transferring a circular pattern onto the resist applied on the optical fiber end face, changing the resist up to a fluidized state by baking an optical fiber on which the columnar shape of the resist is formed at a high temperature and deforming the columnar shape of the resist to a hemispherical shape by surface tension, and applying dry etching to the optical fiber end face having the pattern of the resist deformed to the hemispherical shape so as to form the lens. The method for processing the lens of an optical fiber end face of the present invention is to form a lens on the optical fiber end face through the technique of photolithography and etching, and, by employing a semiconductor manufacturing technology, it becomes possible to produce lenses having a uniform characteristic at low cost in large quantities on the optical fiber, and it is possible to contribute greatly to the development of optical communications technology in the future.

[BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS]

[Fig. 1] is a view for explaining the process of the method

for processing the lens of an optical fiber end face of the present invention.

[Fig. 2] is a view that shows a case in which a resist is applied onto the optical fiber end face.

[Fig. 3] is an example showing a resist application condition under which a film of a negative resist is evenly formed on the end face of the optical fiber by use of a two-fluid-mixed spray.

[Fig. 4] is an explanatory drawing of the step for producing a mask used to be easily and accurately aligned with the center axis of the optical fiber end face on which a positive resist has been applied.

[Fig. 5] is an explanatory drawing of the step of producing a mask used to be easily and accurately aligned with the center axis of the optical fiber end face on which a negative resist has been applied.

[Fig. 6] is a view that shows the shape of a mask completed by the steps shown in Fig. 4.

[Fig. 7] is a view that shows the shape of a mask completed by the steps shown in Fig. 5.

[Fig. 8] is a view explaining a processing method for hemispherically deforming the columnar shape of a resist.

[Fig. 9] is a view that shows a resist application condition

under which a film of a negative resist is formed to obtain a hemispherical shape on the end face of the optical fiber.

[Fig. 10] is an explanatory drawing of a method for forming a lens by applying dry etching to the optical fiber end face having the pattern of the resist hemispherically deformed on the optical fiber end face shown in (b) of Fig. 8.

[Description of Symbols]

- 1 · · · SiO₂ substrate
- 2 · · · Cr-Au
- 3 · · · Resist
- 4 · · · Ni
- 5 · · · Optical fiber

Fig.1

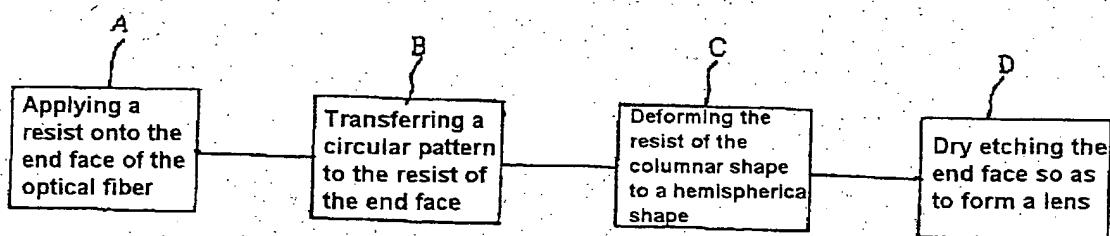


Fig.2

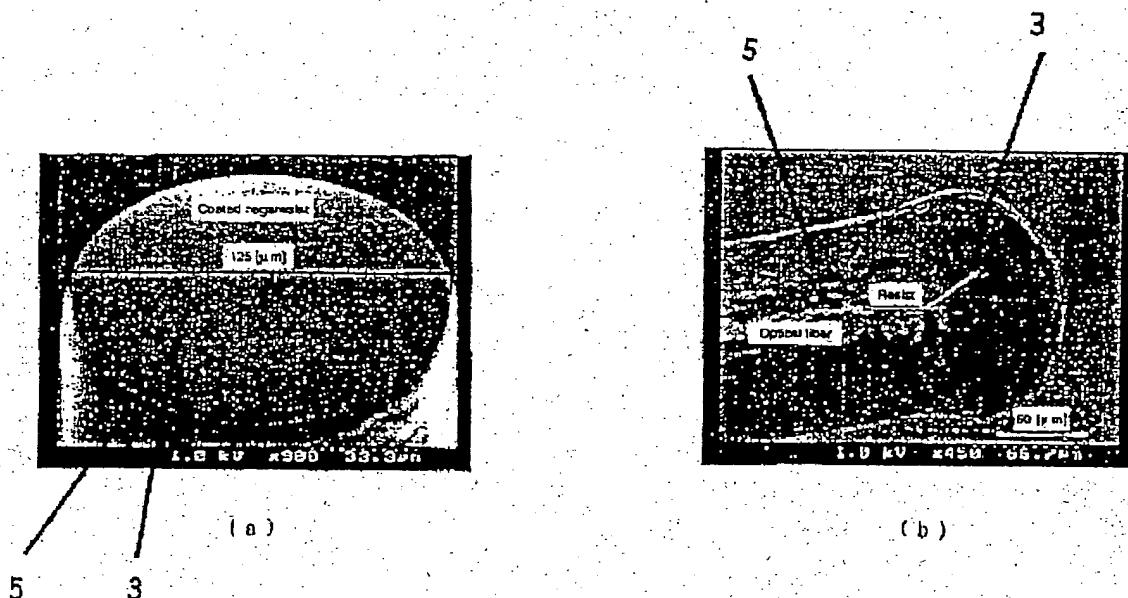


Fig.3

Resist	Atomizing pressure [Mpa]	Syringe pressure [Mpa]	Feed speed [mm/sec]	Temperature [°C]	Dilution ratio [times]	Number of re-coatings [number of times]	Applied position [mm]	MFC [SCCM]
Negative	0.40	0.20	2.0	120	20	5	150	30~35
Positive	0.40	0.20	2.0	120	20	5	150	10~20

Fig.4

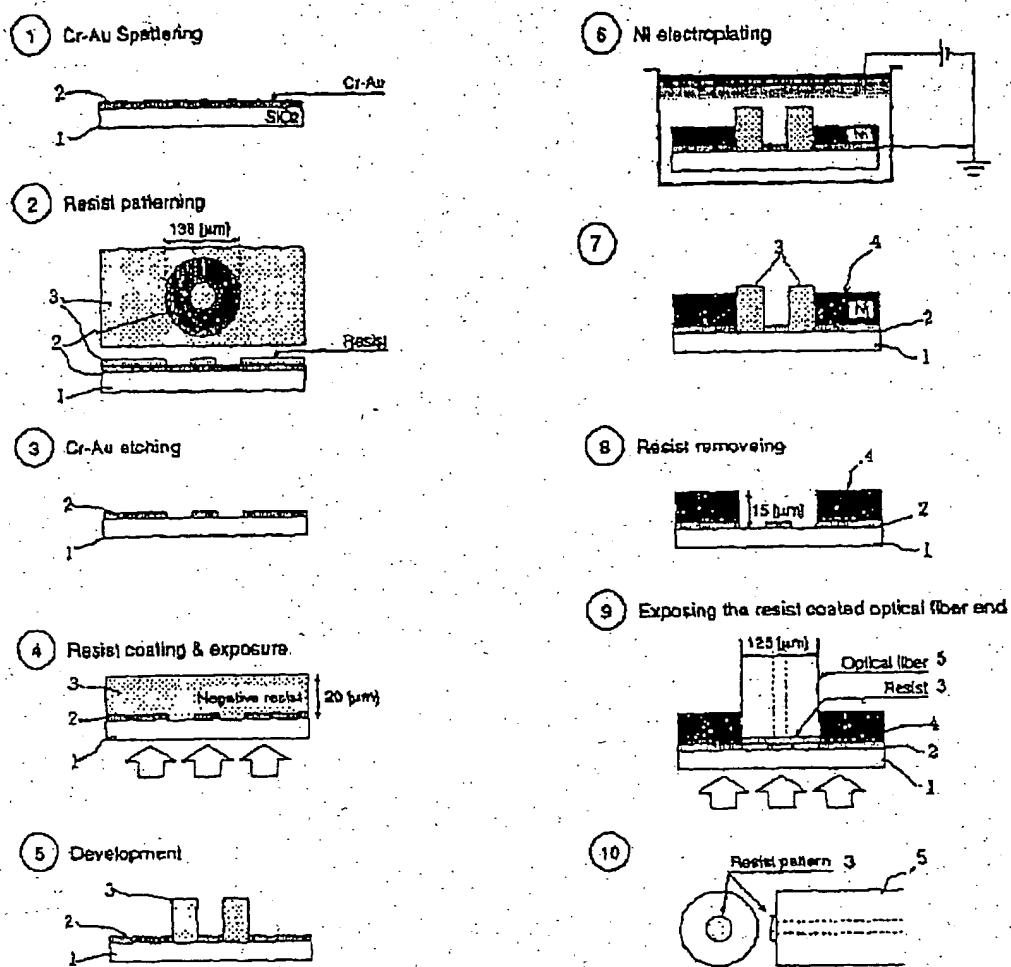


Fig.6

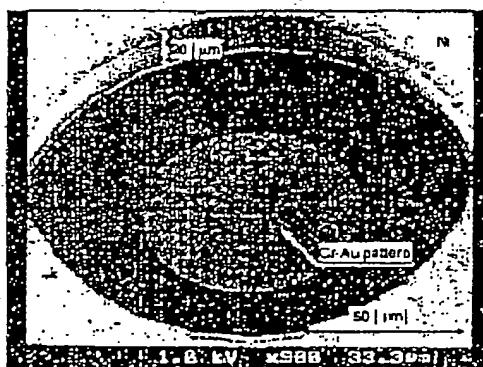


Fig.7

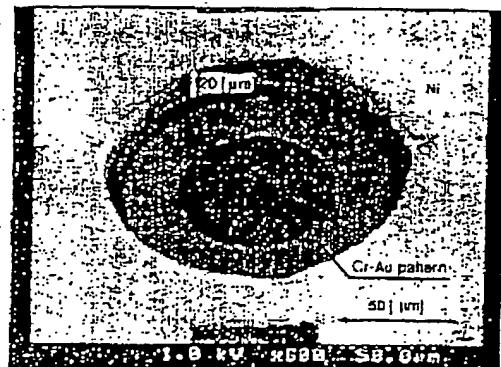


Fig.5

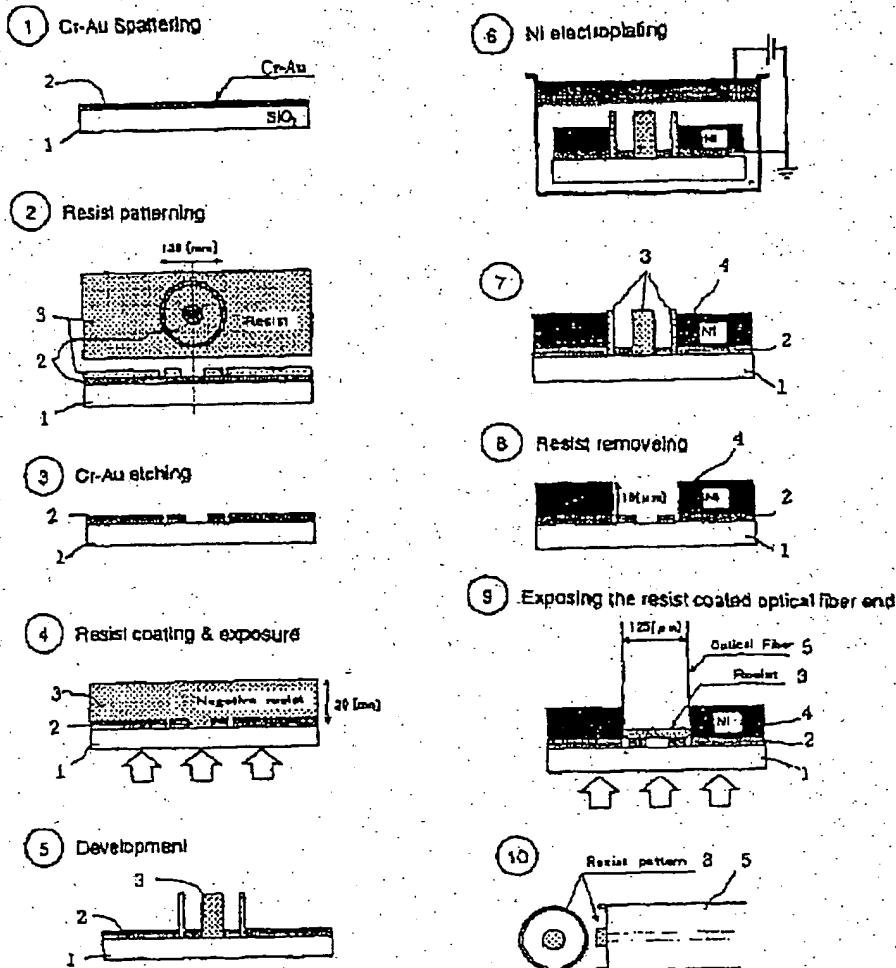


Fig.8

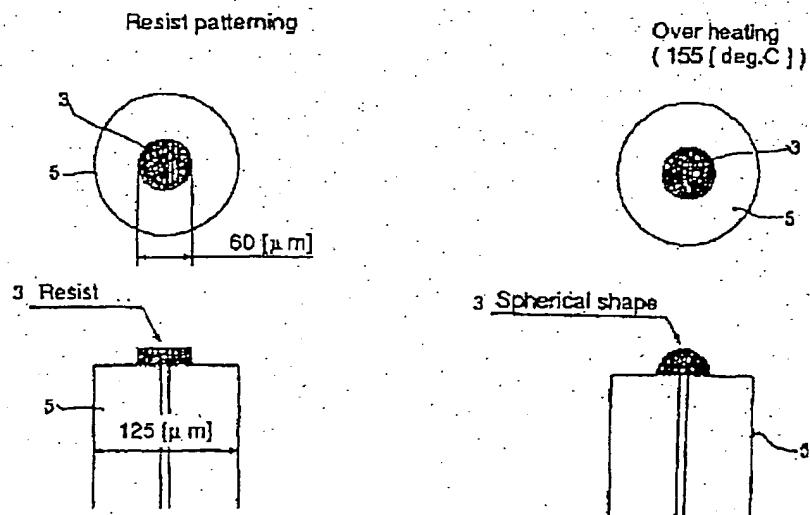


Fig.9

Atomizing pressure [Mpa]	Syringe pressure [Mpa]	Feed speed [mm/sec]	Temper-ature [°C]	Dilution ratio [times]	Number of re-coatings [number of times]	Applied position [mm]	MFC [SCCM]
0.40	0.20	1.5	120	20	6	150	33

Fig.10

